

тоносмесителя (АБС), однако область его применения ограничивается длиной разгрузочного лотка, а также невозможностью подачи бетона выше отметки оси барабана АБС.

3. При стабильных и значительных объемах бетонных работ, выполняемых непрерывно (или кратно объему смеси в АБС) на объекте наиболее эффективным является автобетононасос (АБН). При этом резкое снижение осадки конуса во времени ограничивается жизнеспособностью бетонной смеси – 30 мин. Это обстоятельство необходимо учитывать при решении вопросов организации, приготовления и транспортирования бетонной смеси.
4. Во всех случаях, когда требуется удлинение жизнеспособности бетонной смеси (более 30 мин.) рекомендуется применять пластифицирующие добавки.

1.Торкатюк В.И., Хасан Басам, Торкатюк С.В., Федотова С.И. Организационно-технологические и технические особенности формирования качества монолитных зданий и сооружений / Деп. во ВНИИИС Госстроя СССР. Рег. №5970. Библиографический указатель депонированных рукописей, 1985. – № 6. – 7 с.

2.Торкатюк В.И., Хасан Басам, Федотова С.И. Повышение эффективности возведения элементов дизайна из монолитного бетона / Деп. во ВНИИИС Госстроя СССР. Рег. №7070. Библиографический указатель депонированных рукописей, 1986. – №5. – 6 с.

3.Торкатюк В.И., Хасан Басам, Федотова С.И. Исследование влияния методологических факторов на эффективность возведения высотных зданий и сооружений / Деп. во ВНИИИС Госстроя СССР. Рег. №7115. Библиографический указатель депонированных рукописей, 1987. – № 2. – 5 с.

4.Тян Р.Б., Чернышук Н.М. Организация производства. – Днепропетровск: Наука и образование, 1999. – 162 с.

5.Организация строительного производства / Под общ. ред. проф. Т.Н.Цая. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 1999. – 496 с.

6.Захарченко Г.А. Современные тенденции развития и применения бетононасосов // Механизация строительства. – 1977. – №5. – С.10-11.

7.Пунагин В.Н. Бетон и бетонные работы в условиях сухого климата. – Ташкент: Фан, 1974. – 244 с.

Получено 08.08.2007

УДК 539.3 : 539.4

А.А.ЧУПРЫНИН, канд. техн. наук, Р.АББАСИ

Харьковская национальная академия городского хозяйства

Г.А.СТЕПАНОВА

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ДЕФОРМИРОВАНИЕ ТОНКОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ

Предлагается метод расчета задач деформирования оболочных конструкций, в частности цилиндрических панелей.

В настоящее время в строительстве широко используются элементы, расчетная схема которых соответствует тонкостенным пространственным конструкциям, в частности цилиндрическим панелям. Тонкостенные пространственные покрытия в отличие от плоскостных систем работают под нагрузкой в обоих направлениях, следовательно, такие конструкции требуют наименьшего расхода материалов, в них отношение собственной массы к полезной нагрузке минимально. Тонкостенные пространственные железобетонные конструкции используются для перекрытий больших площадей без промежуточных опор.

Широкое использование современных материалов, обуславливает разработку новых методов расчетов, которые позволят более адекватно смоделировать процессы деформирования конструкций. Вместе с тем, обеспечение высокой надежности и долговечности элементов конструкций, при одновременном уменьшении времени проектирования и сокращении расходов, требует создания современных методов моделирования и расчетов [1]. Использование таких методов расчета позволяет находить оптимальные конструктивные решения.

В настоящее время достаточно хорошо исследовано деформирование тонкостенных конструкций, и получены аналитические и численные решения для отдельных элементов конструкций. Исследование всей конструкции, используя современные конечно-элементные пакеты, имеет свои недостатки, в частности высокую стоимость и трудоемкость расчетов [1, 2].

Настоящая работа посвящена постановке и методу расчета задач деформирования оболочных конструкций, в частности цилиндрических панелей, которые можно использовать для покрытия прямоугольных в плане помещений.

Рассмотрим уравнения, описывающие деформацию гибких оболочек всех типов [3].

Исходные положения. Для расчета цилиндрической оболочки успешно применяются гипотезы, отражающие характерные черты основного напряженного состояния оболочки. Эти гипотезы сводятся к следующему:

1. В уравнениях равновесия можно пренебречь усилием Q_1 и моментами M_1, H_1 , а также принять: $S_1 \approx S_2 \approx S$, $H_1 \approx H_2 \approx H$ (рис.1).

2. Относительное удлинение ε_2 вдоль профиля поперечного сечения оболочки-линии η и относительный сдвиг γ в срединной поверхности малы сравнительно с производными перемещений. При помощи выражений ε_2 , γ через перемещения эта гипотеза представляется приближенными равенствами ($A_1 = A_2 = b$, где A_1, A_2 – параметры Ляме).

$$\frac{\partial v}{b\partial\eta} + \frac{\omega}{R_2} = \varepsilon_2 \approx 0; \quad \frac{\partial u}{b\partial\eta} + \frac{\partial v}{b\partial\xi} = \gamma \approx 0. \quad (1)$$

3. В соотношениях упругости можно не учитывать часть удлинения ε_1 , связанную с усилиями T_2 , и часть момента M_2 , связанную с параметром χ_1 . Это означает принятие соотношений упругости в упрощенном виде:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{T_1}{Eh} - \frac{\nu T_2}{Eh} \approx \frac{T_1}{Eh}; \quad \varepsilon_2 = \frac{T_2 - \nu T_1}{Eh}; \\ \gamma &= 2 \frac{1+\nu}{Eh} S; \quad M_2 = D\chi_2 + \nu D\chi_1 \approx D\chi; \\ M_1 &= D\chi_2 + \nu D\chi_1 + \nu D\chi_2; \quad H = \frac{Eh^3}{12(1+\nu)} \tau. \end{aligned} \quad (2)$$

При описании деформации в тригонометрических рядах вызванное краевой нагрузкой напряженное состояние, отвечающее членам ряда $\cos(n\eta)$, $\sin(n\eta)$, соответствует указанным гипотезам, если выполнено условие:

$$n^2 \ll \sqrt{12}b/h. \quad (3)$$

Напряженное состояние, отвечающее приведенным трем гипотезам, можно назвать полубезмоментным. Эти гипотезы эквивалентны внесению в уравнения общей теории оболочек упрощений, выражающих медленную изменяемость вдоль оболочки (по ξ), сравнительно с изменением по η , любой из функций, описывающих напряженное состояние:

$$\left| \frac{\partial^2 F}{A_1 \partial \xi^2} \right| \ll \left| \frac{\partial^2 F}{A_2 \partial \eta^2} \right|.$$

Рассмотрим оболочку более общего сравнительно с цилиндрической вида. Это оболочка (рис.2), срединная поверхность которой образуется движением плоской кривой линии η , когда плоскость линии η скользят одной из своих точек по плоской кривой s , оставаясь ортогональной линии и не вращаясь вокруг нее.

Координаты ξ , η введем (рис.2) аналогично цилиндрической оболочке (рис.1): $b\eta$ – длина дуги линии η . Причем постоянную b подберем так, чтобы на краях оболочки было $\eta=0, \pi$, а при наличии симметрии относительно плоскости $z=0$ на краях $\eta=\pm\pi$; $b\xi$ – длина дуги линии s .

Обозначая радиусы кривизны линии $\eta=\text{const}$ и линии s через R , R_m , получим выражения параметров Ляме и параметров кривизны, аналогичные приведенным в (1)-(2) для оболочки вращения

$$A_1 = b \frac{R}{R_m}; \quad A_2 = b \frac{1}{R_1} = \frac{\cos \alpha}{R}; \quad \frac{1}{R_2} = \frac{d\alpha}{bd\eta};$$

$$\frac{1}{\rho_1} = \frac{\sin \alpha}{R}; \quad \left(\frac{1}{\rho_2} = \frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{R_{21}} = 0 \right).$$

Кривизна образующей может зависеть от продольной координаты: $R=R(\eta\xi)$. Однако практический интерес представляет, прежде всего, случай постоянной продольной кривизны, когда $R=R(\eta)$:

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \frac{F}{R} \approx \frac{1}{R} \frac{\partial F}{\partial \xi}; \quad \frac{\partial}{\partial \xi} A_1 F \approx A_1 \frac{\partial F}{\partial \xi}. \quad (4)$$

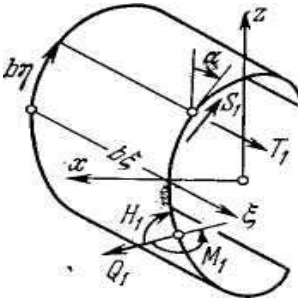


Рис.1 – Цилиндрическая оболочка

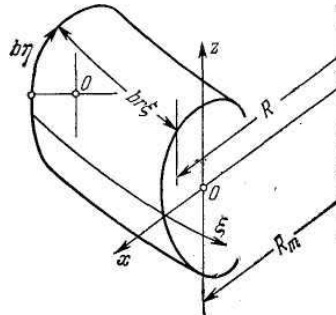


Рис. 2 – Участок гибкой оболочки

Для описанной оболочки двойной кривизны при достаточно малой продольной кривизне основное напряженное состояние будет, очевидно, того же типа, что в цилиндрической оболочке. Составим соответствующие уравнения для гибкой оболочки двойной кривизны на основе предположений полубезмоментной теории цилиндрической оболочки.

Разрешающие уравнения. Первые две гипотезы полубезмоментной теории примем в следующем виде (более приспособленном для нелинейной задачи, когда в число разрешающих функций не входят перемещения).

1. В уравнениях равновесия могут быть отброшены члены, включающие величины H_1 , H_2 , M_1 (и выражающуюся через них попереч-

ную силу Q_1).

2. В уравнениях неразрывности можно отбросить члены, включающие величины γ , ε_2 (и выражающийся через них параметр λ_2). Уравнения равновесия и неразрывности для полубезмоментного напряженного состояния в линейном приближении, можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial \xi} + \frac{\partial r^2 S}{r \partial \eta} &= -rbq_1; \quad \frac{\partial S}{\partial \xi} + \frac{\partial r T_2}{\partial \eta} - T_1 \frac{\partial r}{\partial \eta} + \frac{rb}{R_2} Q_2 = -rbq_2; \\ \frac{1}{R_1} T_1 + \frac{1}{R_2} T_2 - \frac{\partial r Q_2}{rb \partial \eta} &= q_n; \quad rb Q_2 = \frac{\partial r M_2}{\partial \eta}; \quad \frac{\partial \chi^2}{\partial \xi} - \frac{\partial r^2 \tau}{r \partial \eta} = 0; \\ \frac{\partial \tau}{\partial \xi} - \frac{\partial r \chi_1}{\partial \eta} + \chi_2 \frac{\partial r}{\partial \eta} - \frac{rb}{R_2} \lambda_1 &= 0; \\ \frac{1}{R_1} \chi_2 + \frac{1}{R_2} X_1 - \frac{\partial r \lambda_1}{rb \partial \eta} &= 0; \quad rb \lambda_1 = -\frac{\partial r \varepsilon_1}{\partial \eta}. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь использовано обозначение r для безразмерного радиуса кривизны линии ξ , $r = \frac{R}{R_m}$. Из этих уравнений следуют формулы:

$$\begin{aligned} S &= -\frac{1}{r^2} \int \left(r \frac{\partial T_1}{\partial \xi} r + r^2 b q_1 \right) d\eta; \quad T_2 = -\frac{R_2}{R_1} T_1 + \frac{R_2}{r} \frac{\partial^2 r M_2}{b^2 \partial \eta^2} + q_n rb; \\ \tau &= \frac{1}{r^2} \int r d\eta; \quad x_1 = -\frac{R_2}{R_1}; \quad x_2 = \frac{R_2}{r} \frac{\partial^2 r \varepsilon_1}{b^2 \partial \eta^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

С помощью этих формул из вторых уравнений равновесия и неразрывности (5) исключаются все неизвестные, кроме двух, и эти уравнения представляются в виде:

$$\begin{aligned} h^\circ L T_1 - W \frac{M_2}{b} &= b q_\Sigma; \quad q_\Sigma = -r^2 \frac{\partial q_1}{\partial \xi} + \frac{\partial r^3 q_2}{\partial \eta} + \frac{\partial}{\partial \eta} r^2 \frac{\partial r \rho q_n}{\partial \eta}; \\ h^\circ L \chi_2 + W \frac{\varepsilon_1}{b} &= 0; \quad L T_1 = \frac{r}{h^\circ} \frac{\partial^2 T_1}{\partial \xi^2} - \mu \frac{\partial}{\partial \eta} r^2 s T_1 + \mu \frac{\partial}{\partial \eta} r^2 \frac{\partial}{\partial \eta} \rho c T_1; \quad (7) \\ W M_2 &= \frac{\partial}{\partial \eta} r^2 \frac{\partial}{\partial \eta} \rho \frac{\partial^2}{\partial \eta^2} r M_2 + \frac{\partial}{\partial \eta} \frac{r^2}{\rho} \frac{\partial}{\partial \eta} r M_2; \quad \rho = \frac{R_2}{b}, \end{aligned}$$

где $h = \frac{b}{\sqrt{12(1-\nu^2)}}; \mu = \frac{b}{R_m h^\circ}; s = \sin \alpha; c = \cos \alpha.$

Введенные здесь операторы L и W будем использовать в дальнейшем. С помощью соотношений упругости (2) две неизвестные в уравнениях (7) выражаются через остальные две. Это дает систему двух разрешающих уравнений с двумя неизвестными. Ограничиваясь, для упрощения, изотропной оболочкой постоянной толщины, приходим к уравнениям:

$$\begin{aligned} L T_1 - E h^2 W \chi^2 b &= q_\Sigma / h; \\ L \chi_2 b E h^2 + W T_1 &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Система уравнений полубезмоментной теории, в частности уравнения (8), имеет восьмой порядок по η , но лишь четвертый порядок по ξ . Поэтому только на краях $\eta = \text{const}$ можно удовлетворить всем четырем граничным условиям общей теории тонких оболочек. На каждом из краев $\xi = \text{const}$ удовлетворяются лишь два условия. На этих краях отпадают условия, включающие моменты H_1, M_1 и усилие Q_1 , которые в полубезмоментном напряженном состоянии являются второстепенными. Точно так же могут не накладываться граничные условия на параметры деформации $\gamma, \varepsilon_2, \lambda_2$, отбрасываемые в уравнениях неразрывности, и на составляющие перемещения, непосредственно связанные с этими параметрами.

Граничные условия на краях $\xi = \text{const}$ должны включать тангенциальные усилия T_1, S или соответствующие перемещения u, v и параметры деформации ε_1, x_2 . Появление в этих уравнениях интегралов от разрешающих функций (T_2, x_2) не связано с существенными трудностями, если вести решение в тригонометрических рядах.

В линейном приближении исходное предположение полубезмоментной теории (1) позволяет просто выразить компоненты перемещениями u и v через перемещения по нормали w . Из соотношения (5) следует:

$$v = - \int \frac{\omega}{R_2} b d\eta; u = \frac{\partial}{\partial \xi} \iint \omega \frac{b}{R_2} d\eta^2. \quad (9)$$

Параметры деформации оболочки выражаются через перемещения.

Решение в двойных тригонометрических рядах. Будем искать решение уравнений полубезмоментной теории (8) при помощи рядов

Фурье в виде [4]:

$$x = x_B(\xi, \eta) + \sum_j x^j(\eta) \sin \frac{j\pi b}{l} \xi;$$

$$T = T_B(\xi, \eta) + \sum_j T^j(\eta) \sin \frac{j\pi b}{l} \xi. \quad (10)$$

Граничные условия на краях $\xi=0, b$ должны выполняться путем соответствующего выбора функций x_B, T_B и определения введенных в эти функции постоянных. Как показывают расчеты, число членов сумм, необходимое для описания деформации оболочки очень невелико. Данный вариант решения проще, чем решение в ординарных рядах. Отпадает необходимость вычисления корней характеристического уравнения системы дифференциальных уравнений. Преимуществом решения в двойных рядах является также возможность рассмотреть случай переменной продольной кривизны: $R = R(\xi, \eta)$.

В качестве примера рассмотрено напряженное состояние цилиндрической панели, которая является открытой оболочкой, деформирующейся под действием собственного веса. Конструкция, толщиной $h=20$ см, квадратная в плане (со стороной $\ell=10$ м), выполнена из бетона. В расчетах варьировалась высота подъема f в пределах $f=(0\dots5)$ м.

На рис.3 приведена рассматриваемая оболочка. Расчеты проведены в соответствии с полубезмоментной теорией при помощи двойных тригонометрических рядов.

Установлено, что наименьшая интенсивность напряжений будет в панели, высота которой равняется 0,76 м. Анализ приведенных результатов позволяет сделать вывод, что тонкостенное покрытие рационально конструировать в виде выпуклой пологой оболочки, в которой стрела подъема значительно меньше размеров пролета.

Ввиду пологости оболочки разница в статической работе и геометрическом построении разных поверхностей несущественна, в них избегающие моменты появляются лишь в той части оболочки, которая контактирует с опорами.

Большая часть площади оболочки обычно подвергается лишь действию продольных сжимающих усилий.

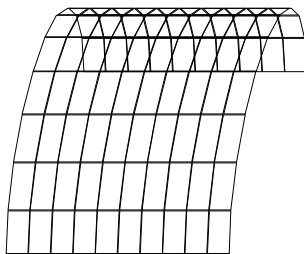


Рис. 3 – Цилиндрическая панель

В углах оболочки сдвигающие силы достигают наибольших значений, что вызывает появление в этих местах значительных главных растягивающих напряжений. Для восприятия этих напряжений угловые зоны оболочек больших пролетов целесообразно армировать диагональной напрягаемой арматурой.

1.Чупрынин А.А. Прогнозирование прочностной надежности тонкостенных элементов строительных конструкций // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Серия: Технические науки и архитектура. Вып.49. – К.: Техника, 2003. – С.348-351.

2.Breslavsky D., Chuprynin A., Korytko Yu., Tatarinova O. Method of asymptotic expansion in cyclic 2D creep-damage problems // Book of abstracts. The second international conference “Nonlinear Dynamics”. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2007. – P.24.

3.Постнов В.А., Слезина И.Т. Учет физической и геометрической нелинейности в задачах изгиба оболочек вращения при использовании метода конечных элементов // Изв. АН СССР, МТТ. – 2004. – №6. – С.78-85.

4.Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. – М: Наука, 1998. – 336 с.

Получено 30.10.2007

УДК 624.04

Е.Г.СТОЯНОВ, канд. техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ПОД ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ИХ РАБОТЫ

Рассматривается групповая установка машин с периодическими динамическими нагрузками на отдельных близко расположенных фундаментах при недостаточном количестве исходных технических характеристик.

В практике проектирования фундаментов под машины с динамическими нагрузками встречаются случаи, когда агрегат состоит из двух или нескольких источников возбуждения колебаний. В этих случаях динамические расчеты можно выполнять для групповой установки машин с разнотипными техническими характеристиками на одном фундаменте согласно рекомендациям [1].

Если агрегатов с разнотипными источниками колебаний несколько, и они установлены на отдельных близко расположенных фундаментах, то динамический расчет значительно усложняется [3,4]. Кроме того, в исходных данных часто приводятся динамические характеристики не всех источников колебаний агрегата, а только основного. В этом случае приходится искать приближенные решения, основанные на тех или иных допущениях. Критерием правильности выбранного решения является подтверждение экспериментом.

В качестве примера рассматривается установка в закрытом произ-